



УДК 612.825.8:613.685

В. В. Кальниш, А. В. Швец

Проблема надежности: новый подход к оценке качества операторской деятельности

(Представлено членом-корреспондентом НАН Украины И. М. Трахтенбергом)

Предложен новый подход к определению надежности операторской деятельности с помощью построения профиля надежности каждого оператора при моделировании информационной составляющей его профессиональных обязанностей. Показано, что использование профиля надежности операторской деятельности открывает новые и широкие перспективы в понимании поведения человека в различных ситуациях его профессиональной деятельности и обеспечивает более точную оценку надежности работы.

Проблема психофизиологического обеспечения надежности деятельности операторов имеет достаточно проработанные теоретические основы и четкие практические результаты благодаря многочисленным исследованиям [1–5]. Стремительно развиваясь, она за короткое время приобрела общегосударственное значение в нашей стране. Вместе с тем несмотря на значительное внимание, которое современные исследователи уделяют проблеме надежности операторской деятельности, данный вопрос еще далек от решения.

Существование проблемы надежности во многом связано с тем обстоятельством, что человек-оператор по тем или иным причинам может допускать в процессе своей деятельности ошибки различного характера. Следовательно, целесообразно отметить, что проблема надежности оператора “выросла” из проблемы появления его ошибок [1, 6]. Многочисленные исследования подтверждают влияние на надежность деятельности и процесс принятия решений: сложности заданий и возникающих вследствие этого информационных перегрузок [2–4]; разнообразных внешних воздействий [5, 7]; пола [8]; возраста [6]; уровня развития профессионально важных качеств, навыков [9] и так далее.

В психофизиологическом понимании надежность главным образом рассматривалась в контексте методов ее определения [10], таких как: вероятность безошибочной работы; стабильность характеристик точности выполнения заданий; запас резервных возможностей человека, которые могут быть включены в деятельность в случае осложнения ситуации; способность поддерживать рабочие параметры в условиях действия экстремальных факторов.

© В. В. Кальниш, А. В. Швец, 2014

Наиболее простым и популярным методом оценки надежности оператора является определение вероятности безошибочности (или ошибочности) его профессиональной деятельности. Этот метод имеет неоспоримое преимущество в том, что получаемая оценка не косвенно, а прямо отражает надежность работы оператора. Однако в нем имеются и недостатки. Например, исследование непосредственно самого реального объекта (профессиональной надежности), как правило, недоступно или весьма затруднительно (особенно в случае развития аварийных ситуаций). Кроме того, количество ошибок профессионала весьма мало и поэтому точная оценка надежности оператора требует много времени для учета ошибочных и безошибочных действий. Ввиду этого часто возникает потребность в моделировании отдельных компонентов деятельности во внепроизводственных условиях.

При неодинаковой сложности решаемых заданий и темпе их предъявления, а также вследствие действия других факторов и их сочетаний возникают существенно различающиеся неаддитивные ситуации, способствующие появлению ошибок. Свидетельством этому могут служить данные о времени и количестве операций, выполняемых работником (например, диспетчером электрических сетей) в штатной и аварийной ситуациях [11], которые в значительной мере определяют сложность его ответных действий. Было четко показано, что работа в аварийной ситуации существенно отличается от таковой в штатной по параметрам нагрузки на те или иные психофизиологические функции работающего человека [12]. Таким образом, можно утверждать, что условия появления ошибок не являются аддитивными и поэтому оценка надежности с помощью определения вероятности ошибочной деятельности, т. е. путем суммирования количества ошибок, возникающих в разных обстоятельствах, не способствует получению объективного результата. Это обстоятельство совершенно игнорируется при оценке надежности традиционным способом. Поэтому целью настоящего исследования стало создание нового подхода к оценке надежности операторской деятельности с учетом неаддитивности условий появления ошибок.

Материалы и методы. В качестве объекта исследований была взята однородная группа операторов (40 мужчин, возраст 18–23 года), которые выполняли профессиональные обязанности радиотелеграфиста на протяжении суток. Исследование психофизиологических характеристик этих лиц проводили в утреннее время (с 8⁰⁰ до 9⁰⁰ ч) до начала суточного дежурства и непосредственно после него [13].

Психофизиологические характеристики регистрировали с помощью специального аппаратно-программного комплекса, который был разработан в Харьковском национальном университете радиоэлектроники [14]. Методики оценки психофизиологических функций были реализованы с использованием защитных непрозрачных очков с вмонтированными разноцветными светодиодами, обеспечивающими стандартизацию предъявления раздражителей и надлежащую контрастность фона и стимула. Диагностирование надежности работы осуществлялось с помощью модифицированной методики Н. В. Макаренко [6], моделирующей простейшую операторскую деятельность, реализованной с обратной связью.

Анализ результатов проводился с помощью следующих методов: нелинейного регрессионного, кластерного и двухфакторного дисперсионного анализа с использованием пакета программ STATISTICA 6.1.478.0. (№GGHGGJ6TUABC4RGRHBCG) [15].

Результаты и их обсуждение. Поскольку каждая из выполняемых оператором задач вызывает у него напряжение определенных функций организма, а решение задач с более высокой сложностью требует от него больших усилий, то работа в условиях с разнородной сложностью заданий является неодинаковой и по параметру надежности их решения. По всей видимости, при оценке надежности деятельности следует учитывать тот непреложный

факт, что появление ошибки при решении простых задач ничтожно мало, а при решении сверхсложных — максимально возможно. Исходя из этих соображений, уместно предложить универсальное описание изменения надежности деятельности при решении широкого спектра (по параметру сложности) задач с помощью логистической кривой. При анализе этой кривой можно условно выделить в ней три участка: пологий — с максимально низкой вероятностью безошибочности действий оператора (при решении задач со сверхвысокой для данного человека сложностью); с плавно убывающей вероятностью появления ошибок (при решении задач средней сложности); еще один пологий — с максимально высокой вероятностью безошибочности действий оператора (при решении задач низкой сложности). Формула, описывающая логистическую кривую, имеет вид $p(\tau) = 1/(1 + e^{(a-b \times \tau)})$, где $p(\tau)$ — вероятность надежности деятельности; τ — экспозиция предъявляемого сигнала, мс; a и b — коэффициенты, отражающие функциональное состояние и уровень развития профессионально важных качеств оператора.

Следовательно, не значение, описывающее некую условно усредненную вероятность появления ошибки при традиционной оценке надежности, а кривая, отображающая весь спектр реакций человека при решении задач разной сложности, более адекватно характеризует надежность профессиональной деятельности оператора. Такую кривую можно назвать “профилем надежности деятельности”. Доказательством реального существования такой зависимости могут служить результаты исследования, отражающие изменение вероятности появления ошибок от сложности предъявляемой информации у лиц, находящихся в состоянии спокойного бодрствования и в стрессовой ситуации [7].

Таким образом, *профиль надежности деятельности* (ПНД) можно определить как согласованную совокупность характеристик, представляющую собой линию, построенную по комплексу значений, отображающих соответствие вероятности правильного решения потока задач и скорости их предъявления, демонстрирующих трансформацию параметра надежности деятельности при усложнении перерабатываемой информации. Такая кривая более адекватно отражает возможные варианты поведения человека при решении задач различной сложности.

Интересно, что обсуждаемый профиль хорошо чувствителен к функциональному состоянию человека. В частности, при развитии утомления после суточного дежурства радиотелеграфистов структура профиля надежности деятельности закономерно изменяется, характеризуя ухудшение возможностей уставшего человека перерабатывать информацию [13]. Таким образом, ПНД отражает не только формальную сторону изменения надежности деятельности от темпа предъявления заданий в разнообразных условиях и режимах деятельности, но и может служить характеристикой изменения функционального состояния, выраженности профессионально важных качеств оператора.

Решение вопроса об исследовании свойств ПНД проводилось в несколько этапов. Сначала были построены логистические кривые, описывающие ПНД операторов по данным решения тестовых задач в конце смены, когда работники из-за накопленной усталости были склонны делать большее количество ошибок. Для выделения однородных групп по степени надежности деятельности операторов был проведен кластерный анализ индивидуальных ПНД. В результате были выделены две подгруппы лиц, различающихся по уровню надежности (рис. 1). В подгруппу 1 попали радиотелеграфисты, надежность деятельности которых по результатам двухфакторного дисперсионного анализа достоверно ($p < 0,001$) выше, чем в подгруппе 2. Большая подгруппа (подгруппа 1) состояла из людей с “высоким” уровнем надежности профессиональной деятельности (77,5%), а меньшая (32,5%) — с “низким”.

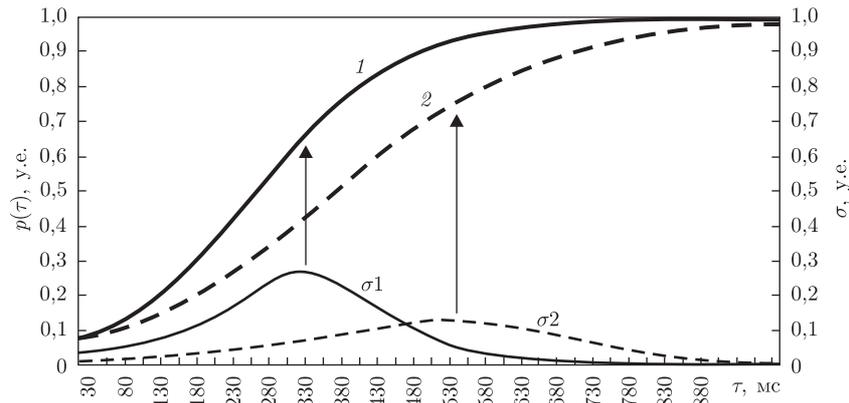


Рис. 1. Профили надежности деятельности подгруппы с “высоким” (подгруппа 1 — 1) и “низким” (подгруппа 2 — 2) ПНД.

$p(\tau)$ — вероятность надежной деятельности; $\sigma_1(\tau)$ — функция средних квадратических отклонений вероятности надежной деятельности для лиц подгруппы 1; $\sigma_2(\tau)$ — функция средних квадратических отклонений вероятности надежной деятельности для лиц подгруппы 2

Здесь необходимо подчеркнуть, что степени свободы действий операторов при выполнении заданий разной сложности сказываются на уровне разброса (среднего квадратического отклонения — σ) вероятности надежной деятельности. Динамика кривых для обеих подгрупп $\sigma_1(\tau)$ и $\sigma_2(\tau)$ имеет колоколообразную форму, т. е. степени свободы действий операторов не являются одинаковыми для разных скоростей предъявления заданий. У этих кривых можно выделить явно выраженный максимум. Причем максимум $\sigma_1(\tau)$ имеет гораздо большее значение ($p < 0,01$), чем максимум $\sigma_2(\tau)$. Это свидетельствует о том, что разнообразие реакций у представителей подгруппы с “высоким” уровнем надежности профессиональной деятельности гораздо больше, чем у представителей подгруппы 2. Иными словами, операторы, имеющие существенный “запас” надежности, могут позволить себе в большей степени разнообразить свои реакции. Интересным является тот факт, что максимум кривой $\sigma_1(\tau)$ находится в области более высоких темпов предъявления заданий по сравнению с максимумом $\sigma_2(\tau)$. Однако вероятность надежной деятельности и в том и другом случае достаточно близка и находится в диапазоне 0,65–0,75 (или 65–75%), т. е. на более высоком уровне, чем точка проявления 50% равновесия между числом правильных и ошибочных действий при решении текущих задач (ПНД₅₀). Таким образом, на профиле ПНД можно выделить “особую” область, отражающую надежность деятельности в условиях проявления максимальной степени свободы операторов.

Анализируя приведенные закономерности, целесообразно поставить вопрос об установлении критериев надежности операторской деятельности, решение которого является важным как с теоретической, так и с практической точек зрения. Одним из подходов к решению этого вопроса является установление области колебаний коэффициентов a и b логистической кривой, отражающей ПНД операторов с “высоким” уровнем надежности профессиональной деятельности. Для выяснения этого вопроса, во-первых, был получен среднегрупповой или “нормативный” (по группе с “высоким” уровнем надежности) профиль — ПНД_н. Именно ПНД_н является удовлетворительным при выполнении операторами своих служебных обязанностей (см. рис. 1). Во-вторых, с помощью метода Монте-Карло и примененного для установления достоверных различий каждого индивидуального ПНД и ПНД_н была выявлена область, где индивидуальное ПНД, с соответствующим сочетанием коэффициен-

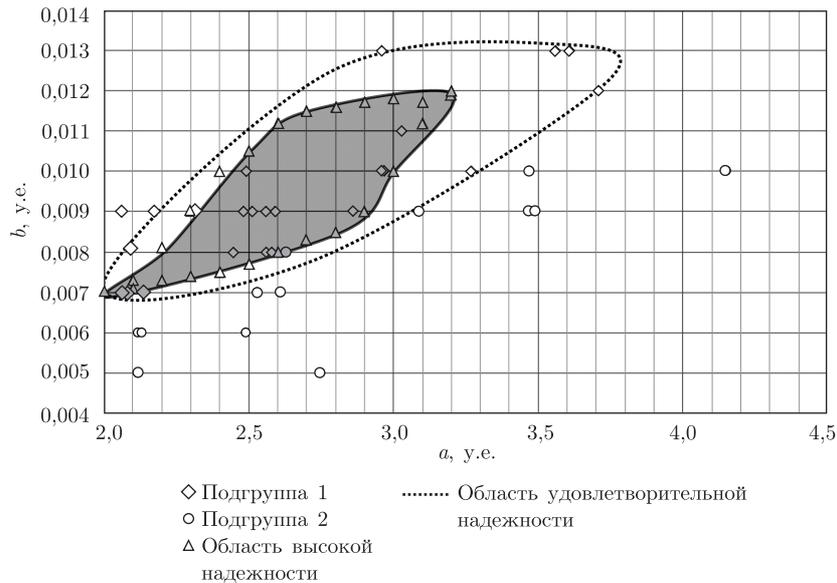


Рис. 2. Соответствие характеристик индивидуальных ПНД (a и b) “нормативной” (“высокой” и “удовлетворительной”) области надежности деятельности операторов

тов логистической кривой, еще могло трактоваться как ПНД, принадлежащее континууму ПНД_н с вероятностью $p < 0,05$ для лиц с “высокой” или $p < 0,1$ для лиц с “удовлетворительной” надежностью (рис. 2).

Отклонение параметров ПНД от области ПНД_н можно трактовать как “неудовлетворительную” надежность профессиональной деятельности. Имея координаты выделенной области надежной деятельности, можно по уровню коэффициентов a и b индивидуальных ПНД принимать решение об удовлетворительности или неудовлетворительности операторской деятельности конкретного человека. Как видно из рис. 2, определенный процент представителей подгруппы 1 не попал в область “высокой” или “удовлетворительной” надежности деятельности (25,9% при $p < 0,05$; 7% при $p < 0,1$). И, наоборот, некоторые представители подгруппы 2 (7,7% при $p < 0,05$; 15,4% при $p < 0,1$) попали в эту область. Такое положение вещей, вероятно, можно объяснить определенной неточностью использованного метода кластерного анализа, разделившего группу испытуемых на подгруппы 1 и 2. Однако выявление четких границ областей с “высокой” и “удовлетворительной” надежностью деятельности позволяет подкорректировать указанную нечеткость первоначальной обработки результатов тестирования.

Одним из приемов дальнейшей проверки качества работы описанного двухступенчатого алгоритма был способ соотнесения значений коэффициентов a и b для лиц, имеющих существенные различия в функциональном состоянии. Дело в том, что предварительно с помощью комплекса специальных приемов было исследовано функциональное состояние обследованных радиотелеграфистов [13]. Эта оценка показала, что у части из них функциональное состояние можно описать термином “умеренное” утомление, а у другой части — как “выраженное” утомление. Естественно, следовало бы предположить, что группа с “выраженным” утомлением не попадет в область ПНД_н, а группа с “умеренным” утомлением — попадет. Однако проведенный анализ показал, что в подгруппу с “неудовлетворительным” уровнем надежности попало 25% “умеренно” утомленных операторов, а в подгруппу с “высо-

ким” — 37,5% лиц с “выраженным” утомлением. Это свидетельствует о том, что степень утомления, как правило, существенно влияет на надежность операторской деятельности, но некоторые операторы, имеющие значительные функциональные резервы, еще могут некоторое время удовлетворять критериям надежности. Другие, входящие в подгруппу с “умеренным” утомлением, уже исчерпали свои возможности в процессе суточного дежурства и не могут надежно работать.

Таким образом, часть операторов, имевших состояние, которое можно трактовать как “выраженное” утомление, все же принадлежат к континууму “надежных” операторов. Большая же часть этой группы не удовлетворяет указанному критерию и, следовательно, не может отвечать требованиям к осуществлению профессиональной деятельности радиотелеграфиста. Выделена также группа лиц, не относящаяся к области ПНД_н, которая имеет только “умеренный” уровень утомления. Такое положение вещей, по-видимому, связано с тем, что эти лица не являются профессионально пригодными к работе радиотелеграфиста, хотя и могут хорошо переносить длительную сменную работу. Полученное разнообразие принадлежности или не принадлежности операторов к области ПНД_н свидетельствует о том, что реакции человека, работающего в сложных условиях суточного дежурства, могут быть неодинаковыми. Это необходимо учитывать при допуске на работу.

Необходимо также отметить, что поиск новых более точных методов оценки и прогнозирования надежности операторской деятельности является важной задачей современных исследований. Описанные в настоящей работе подходы позволяют по-новому рассматривать проблему надежности и получить из имеющихся данных не усредненную, а более точную развернутую информацию о процессах обеспечения должной надежности операторской деятельности. Они являются важными для выяснения возможностей оператора выполнять работу по принятию решений в различных условиях, что может быть использовано для проведения профессионального отбора, допуска человека к работе (предсменный контроль), допуска к работам с повышенной опасностью в условиях развития чрезвычайных ситуаций и пр. Анализ ПНД каждого оператора при моделировании его деятельности открывает широкие перспективы в понимании поведения человека в различных ситуациях и обеспечивает более точную оценку надежности его работы. Предложенные подходы к анализу надежности операторской деятельности, естественно, требуют дальнейшего развития.

1. *Войтенко А. М.* Психофизиологический анализ причин ошибочных действий человека-оператора // Вестн. Балт. пед. акад. – 2006. – Вып. 69 – С. 49–57.
2. *Theerasak P.* Information overload among professionals in Thailand // J. Inform. Technol. Impact. – 2010. – **10**, No 3. – P. 171–200.
3. *Himma K. E.* The concept of information overload: A preliminary step in understanding the nature of a harmful information-related condition // Ethics and Inform. Technol. – 2007. – **9**. – P. 259–272.
4. *Mount W. M., Tuček D. C., Abbass H. A.* Psychophysiological Evaluation of Task Complexity and Cognitive Performance in a Human Computer Interface Experiment // ICONIP'12. Proc of the 19th Intern. conf. on Neural Information Processing, Doha, Qatar, November 12–15, 2012. – Berlin; Heidelberg: Springer, 2012. – P. 600–607.
5. *Novak D., Mihelj M., Munih M.* Dual-task performance in multimodal human-computer interaction: a psychophysiological perspective // Multimedia Tools and Applications. – 2012. – **56**, No 3. – P. 553–567.
6. *Makarenko M. V., Lizogub V. S., Kozhemyako T. V., Chernenko N. F.* Age Characteristics of the Speed of Central Information Processing In Persons with Different Levels of Functional Mobility of Nervous Processes // Int. J. Physiol. and Pathophysiol. – 2011. – **2**, No 4. – P. 335–341.
7. *Швець А. В., Кальниш В. В.* Особливості впливу різних психофізіологічних станів на надійність операторської діяльності // Військ. медицина України. – 2009. – № 1. – С. 84–91.
8. *Кальниш В. В., Швець А. В., Левіт Й. Р.* Гендерні особливості надійності операторської діяльності // Журн. АМН України. – 2009. – **15**, № 4. – С. 755–768.

9. *Wu Ch., Liu Y., Quinn-Walsh C. M.* Queuing Network Modeling of a Real-Time Psychophysiological Index of Mental Workload-P300 in Event-Related Potential (ERP) // *IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., Pt. A: Systems and Humans.* – 2008. – **38**, No 5. – P. 1068–1084.
10. *Акмеология* / Под ред. А. А. Деркача – Москва: РАГС, 2006. – 424 с.
11. *Єна Т. А.* Гігієнічна і психофізіологічна оцінка професійної діяльності диспетчерів енергосистем // *Укр. журн. з проблем медицини праці.* – 2008. – № 1(13). – С. 13–19.
12. *Єна Т. А., Кальниш В. В.* Професійно важливі якості диспетчерів енергосистем // *Там само.* – 2010. – № 4(24). – С. 11–20.
13. *Kalnysh V. V., Shvets A. V.* Effect of intense 24-hour shift work on reliability of operators' activity // *Human Physiol.* – 2012. – **38**, No 3. – P. 294–302.
14. *Кочина М. Л., Фирсов А. Г.* Многофункциональный прибор для проведения психофизиологических исследований // *Прикл. радиоэлектроника.* – 2010. – **9**, № 2. – С. 260–265.
15. *Lewicki P., Hill Th.* STATISTICS Methods and Applications. A comprehensive reference for science, industry, and data mining. – Tulsa OK, USA: StatSoft Inc., 2006. – 832 p.

*НИИ проблем военной медицины Украинской
военно-медицинской академии, Киев*

Поступило в редакцию 23.09.2013

В. В. Кальниш, А. В. Швець

Проблема надійності: новий підхід до оцінки якості операторської діяльності

Запропоновано новий підхід до визначення надійності операторської діяльності за допомогою побудови профілю надійності кожного оператора при моделюванні інформаційної складової його професійних обов'язків. Показано, що використання профілю надійності операторської діяльності відкриває нові та широкі перспективи в розумінні поведінки людини в різних ситуаціях її професійної діяльності та забезпечує більш точну оцінку надійності роботи.

V. V. Kalnysh, A. V. Shvets

The problem of reliability: a new approach to the estimation of operator's activity quality

A new approach to the definition of operator's activity reliability using the reliability profile construction for each operator has been offered at the modeling of professional duties' information components. It is shown that the reliability profile usage of operators' activity opens new and wide prospects in the understanding of human behavior within various situations of the professional activity and provides a more exact estimation of the job reliability.